

DWPX - (C) The Thomson Corp.

AN - 1977-H1918Y [35]

TI - Ultrasonic speed transformer with stepped concentrator has rod of resonant length according to mode of longitudinal oscillation

PA - (MOSK) MOSCOW CHEM EQUIP INST

PN - DE2606997 A 19770825 DW1977-35 Ger \*

AP: 1976DE-2606997 19760220

- FR2343519 A 19771110 DW1978-01 Fre NCEQ

AP: 1976FR-0006822 19760310

PR - 1976DE-2606997 19760220

AB - DE2606997 A

Ultrasonic speed transformer comprises a stepped concentrator (1, 2) with a resonant length according to the mode of longitudinal oscillation, with its narrow end rigidly connected to means for increasing the radiation surface area of the concentrator of the concentrator, in the form of a rod (3) of resonant length according to the mode of longitudinal oscillation. The rod may consist of a divergent section (5) with a length of  $1n \sqrt{N/k}$ , where N is the square root of the area ratio of the wide and narrow ends of the divergent section and k is the wave number, and a constant dia. section (3). The areas of the narrow and wide ends of the divergent section and of the narrow end of the concentrator or constant-dia. section are equal.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

⑯

Int. Cl. 2:

**B 06 B 3/02**

⑰ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES PATENTAMT**



⑪

## **Offenlegungsschrift 26 06 997**

⑫

Aktenzeichen: P 26 06 997.6

⑬

Anmeldetag: 20. 2. 76

⑭

Offenlegungstag: 25. 8. 77

⑯

Unionspriorität:

⑰ ⑱ ⑲

⑳

Bezeichnung: Ultraschall-Geschwindigkeitstransformator

㉑

Anmelder: Moskowskij institut chimitscheskowo maschinostrojenija, Moskau

㉒

Vertreter: Beetz sen., R., Dipl.-Ing.; Lamprecht, K., Dipl.-Ing.;  
Beetz jun., R., Dr.-Ing.; Pat.-Anwälte, 8000 München

㉓

Erfinder: Yakowlew, Alexandr Dmitriewitsch; Kokorew, Dmitry Timofeewitsch;  
Monachow, Walery Nikolaewitsch; Sweskin, Alexandr Sergeewitsch;  
Moskau

㉔

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DT-OS 19 01 449

BE 5 30 555

US 36 28 071

US 31 31 515

US 29 48 154

Patentansprüche

1.) Ultraschall-Geschwindigkeitstransformator mit einem Stufenkonzentrator von Resonanzlänge nach dem Längsschwingungsmodus, dessen schmales Ende mit einem Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche dieses Konzentrators starr verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche des Konzentrators ein Stab (3) von Resonanzlänge nach dem Längsschwingungsmodus vorgesehen ist.

2. Transformator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Stab (3) einen konstanten Querschnitt aufweist, der größer ist als der des schmalen Endes des Konzentrators.

3. Transformator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Stab (3) aus einem sich erweiternden Abschnitt (5), dessen Länge  $l$  ungefähr gleich  $\frac{\ln N}{k}$  ist, wobei  $N$  die Quadratwurzel aus dem Flächenverhältnis der Querschnitte des breiten und des schmalen Endes des sich erweiternden Abschnitts (5) des Stabes (3) und  $k$  die Wellenzahl bedeuten, und einem Abschnitt (3') mit konstantem Querschnitt besteht, die in Strahlungsrichtung hintereinander liegen, wobei die Querschnittsflächen des schmalen und des breiten Endes des sich erweiternden Abschnitts (5) des Stabes (3) den Querschnittsflächen des schmalen Endes des Konzentrators bzw. des Abschnitts (3') des Stabes (3) mit konstantem Querschnitt gleich sind.

4. Transformator nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der sich erweiternde Abschnitt (5) des Stabes (3) Kegelform aufweist.

- 32 -

2606997

• 6.

5. Transformator nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,  
daß der sich erweiterende Abschnitt (5) des Stabes (3)  
eine exponentielle Form aufweist.

**Patentanwälte**  
**Dipl.-Ing. R. BEETZ sen.**  
**Dipl.-Ing. K. LAMPRECHT**  
**Dr.-Ing. R. BEETZ Jr.**

**8000 München 22**  
**Steinendorfstraße 10**  
**Tel. (089) 22 7201/22 7244/28 5910**  
**Telegr. Alipatent München**  
**Telex 822048**

- 3 -

2606997

530-25.304P

20. 2. 1976

Moskovsky institut khimicheskogo mashinostroenia, MOSKAU  
UdSSR

---

**Ultraschall-Geschwindigkeitstransformator**

Die Erfindung betrifft einen Ultraschall-Geschwindigkeitstransformator mit einem Stufenkonzentrator von Resonanzlänge nach dem Längsschwingungsmodus, dessen schmales Ende mit einem Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche dieses Konzentrators starr verbunden ist.

Die erfindungsgemäß ausgebildeten Ultraschall-Geschwindigkeitstransformatoren sind hauptsächlich zur Intensivierung technologischer Prozesse wie beispielsweise Reinigung, Homogenisierung, Dispergierung.

530-(P.60550/1)-DfSl

709834 / 0176

• 4.

Schweißung, Verzinnung, Extraktion oder Chemosorption bestimmt.

Geschwindigkeitstransformatoren (Konzentratoren) sind bereits seit einem Vierteljahrhundert (s. z. B. die US-PS 2 514 080 oder den SU-Erfunderschein 85193) bekannt und dienen zur Übertragung, Transformation und Ausstrahlung von durch elektromechanische Resonanzwandler vom Stabtyp nach einem Längsschwingungsmodus erregten mechanischen Schwingungen. Die Wandler werden an Ultraschallgeneratoren gekoppelt und wandeln elektrische Schwingungen in mechanische Längsschwingungen um.

In der Leistungs-Ultraschalltechnik werden die elektromechanischen Wandler zur unmittelbaren Übertragung mechanischer Energie auf zu verarbeitende Medien praktisch nicht verwendet. Der Grund dafür sind eine des öfteren ungenügende Strahlungsintensität und eine nur kurze Lebensdauer der aktiven Elemente der Wandler bei deren Be- rührung mit den zu verarbeitenden Medien sowie eine un- effektive Ausnutzung potentieller Möglichkeiten der akti- ven Elemente der Wandler, beispielsweise piezoelektri- scher oder magnetostriktiver Wandler.

Am häufigsten werden die Wandler mit zusätzlichen Resonatoren ausgeführt, über die die Ultraschallabstrah- lung (s. beispielsweise die Beschreibung eines Wandlers in der US-PS 3 415 548) erfolgt.

Diese Resonatoren werden ständig sowohl in Richtung auf eine Vergrößerung der Schwingungsamplitude als auch in Richtung auf eine Erhöhung der Effektivität der Über- tragung der Potentialenergie der Wandler vervollkommen. Darüber hinaus gestatten es die zusätzlichen Resonatoren,

.§.

die Wandler zu befestigen und sie mit Schutzgehäusen zu versehen.

Es ist eine große Anzahl von Resonatorausführungen mit Längs-, Biegungs-, Torsions- oder anderen Schwingungsmodus bekannt, die in Verbindung mit elektromechanischen Wählern zum Einsatz gelangen.

Speziell wird weitgehend ein elektromechanischer Wandler vom Stabtyp verwendet, dessen Ausgang mit einem Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche starr verbunden ist, das in Form einer dünnen Platte mit Biegeschwingungen (s. beispielsweise eine Beschreibung von Ultraschall-Waschanlagen der Firma "Schoeller-Bänder-Bleche-Rohre", 1972, 13, N. 12, L 20 sowie "Physikalische Grundlagen der Ultraschalltechnologie", redigiert von L.D. Rosenberg, Moskau, "Nauka", 1979, S. 227) ausgeführt ist. Die Biegungsschwingungen ausführenden Platten können mit einer praktisch unbegrenzten Strahlungsfläche hergestellt werden, was eine volle Ausnutzung der potentiellen Möglichkeiten für ein oder mehrere elektromechanische aktive Elemente großer Leistung (s. beispielsweise den SU-Erfinderschein 262 529) zuläßt. Die an den Wandler gekoppelte Platte mit Biegungsschwingungen liefert aber nur geringe Strahlungsintensitäten (bis zu 1 bis 3 W/cm<sup>2</sup> bei einer Abstrahlung ins Wasser) bei äußerst ungleichmäßiger Verteilung der Schwingungsamplituden über die Strahlungsfläche, was die Anwendung dieser Wandler einschränkt.

Es sind einige Bauformen für einfache und zusammengesetzte Geschwindigkeitstransformatoren bekannt, die in Form von Längsschwingungen ausführenden Resonanzstäben der Halbwellenlänge hergestellt sind, deren Querschnittsfläche sich auf der Gesamtlänge bzw. nur auf einem bestimm-

. 6.

ten Längenabschnitt nach einem bestimmten Gesetz ändert.

Die Ausnutzung von Geschwindigkeitstransformatoren, deren Querschnittsfläche in Richtung des Ausganges (der eigentlichen Konzentratoren) abnimmt, gestattet es, sehr hohe Werte für die spezifische Strahlungsleistung des Ultraschalls für die zu verarbeitenden Medien (speziell für flüssige Médien) (s. beispielsweise E.A. Neppiras, Very high energy ultrasonics, British J. of Appl. Phys., 1960, N. II, 143 bis 150) zu erhalten.

Die einfachen und die zusammengesetzten Geschwindigkeitstransformatoren werden auch nach der Art der Änderung der Querschnittsfläche in Abhängigkeit von der anzunehmenden Form der Verjüngung (kegelförmig, exponential, katenoidal, ampullenförmig, stufenweise) nach Verstärkereigenschaften in Abhängigkeit vom Wert des Flächenverhältnisses der Querschnitte der Eingangs- und Ausgangsenden und nach Festigkeits- und Anpassungseigenschaften klassifiziert.

Die in Form von kegelig, exponential und katenoidal gestalteten Stäben ausgeführten Geschwindigkeitstransformatoren werden zu den einfachen Konzentratoren gezählt. Die zusammengesetzten Geschwindigkeitstransformatoren sind ein Zwei-Viertelwellen-Stufenkonzentrator (s. beispielsweise den SU-Erfinderschein 282 906), ein Stufenkonzentrator mit einem sich in Strahlungsrichtung verjüngenden Übergangsabschnitt (s. beispielsweise L. G. Merkulov, A.B. Haritonov "Theorie und Berechnung zusammengesetzter Konzentratoren", "Akusticheskij Jurnal", 1959, 5, 2, 183 bis 190), Ampullenkonzentratoren (s. beispielsweise E. Eisner, Complete solutions of the Webster horn equation, J. "Acoust.Soc.Amer.", 1967, 41, 4, 1126 bis 1146).

.9.

Von den oben beschriebenen Bauformen besitzen die Stufenkonzentratoren den größten Verstärkungsfaktor in bezug auf die Amplitude der Schwingungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Flächenverhältnis der Querschnitte der Stabenden; weiter folgen die Stäbe von katenoidalaler, exponentialer und kegeliger Form. Von allen oben beschriebenen Bauformen sind die Konzentratoren mit ampullenförmiger und kegeliger Gestalt die festesten, sie stehen jedoch in den Verstärkereigenschaften den Stäben anderer Formen erheblich nach. Nach den durch eine Änderung der Blindkomponente des Eingangswiderstandes der Stäbe bei einer Erregerfrequenzverstimmung mit der Frequenz von deren eigenen Längsschwingungen gekennzeichneten Anpassungseigenschaften sind die Stäbe von katenoidalaler und kegeliger Form optimal.

Bekanntlich dürfen die Quermaße der längsschwingenden Stäbe und speziell der Geschwindigkeitstransformatoren die Viertel- bzw. Halbwellenlänge der Längsschwingungen nicht übertreffen, was die Strahlungsfläche ihrer Ausgangsenden sehr stark beschränkt. Beispielsweise macht die Strahlungsfläche des Geschwindigkeitstransformators bei der in der Praxis eines Leistungs-Ultraschalls am häufigsten vorkommenden Frequenz von 20 kHz weniger als einen Wert von 3 bis 5  $\text{cm}^2$  aus, was ungefähr um eine Größenordnung kleiner ist als die Querschnittsfläche des Ausgangsendes des Wandlers (s. beispielsweise N.S. Noskov, A.S. Zvezdkin, A.D. Jakovlov "Berechnung von Ultraschall-Schwingungskonzentratoren", Zeitschrift "Vestnik Mashinostrojenija", 1969, N. 10, S. 57 bis 59).

Die Abnahme der Querschnittsfläche des Geschwindigkeitstransformators in Richtung auf das Ausgangsende erfolgt in größerem Maße gegenüber der Zunahme der spezifischen Strahlungsleistung an dessen, beispielsweise

.P.

mit kavitiertendem Wasser belasteten Ausgang. Dieser meist auf eine Kavitationsentlastung zurückzuführende Effekt wird durch einen steilen Abfall des Wellenwiderstandes der kavitierten Flüssigkeiten bei einer Vergrößerung der Schwingungsgeschwindigkeit am Ausgang des Geschwindigkeitstransformators (s. beispielsweise V. N. Monahov, S. L. Peshkovskij, A.S. Popovich, B. I. Fomichev, I.P. Chinjakov und A.D. Jakovlev "Zur Frage der zweiten Schwelle der Ultraschallkavitation", "Akusticheskij Journal", 1975, 20, 3, 432 bis 435) bedingt. Das heißt, wenn ein gleich leistungsstarker elektromechanischer Wandler und die gleiche Flüssigkeit benutzt werden, so erweist sich die Strahlungsleistung des Geschwindigkeitstransformators mit geringerem Verstärkungsfaktor als höher gegenüber der Strahlungsleistung des Geschwindigkeitstransformators mit größerem Verstärkungsfaktor.

Der Umstand, daß bei sämtlichen oben beschriebenen Geschwindigkeitstransformatoren die Verstärkung der Schwingungsamplitude durch Verringerung der Strahlungsfläche erreicht wird, stellt einen wesentlichen Nachteil dieser Bauformen dar. Eine sehr starke Verringerung der Größe der Strahlungsfläche beim Einsatz derartiger Transformatoren engt den eventuellen Anwendungsbereich für leistungsstarken Ultraschall beträchtlich ein.

Es ist auch ein Ultraschall-Geschwindigkeitstransformator bekannt, der einen Stufenkonzentrator von Resonanzlänge nach einem Längsschwingungsmodus aufweist, dessen schmales Ende mit einem Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche dieses Konzentrators (s. beispielsweise Kiichiro Matsuzawa, Ultrasonic Transducers with Flexurally Vibrating Diaphragms for Use in Air. Japanese J. of Appl. Physics, 1970, 9, N. 3, 235 bis 245) starr gekoppelt ist.

- 7 -

.9.

Als Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche des Konzentrators kommen eine dünne, Biegungsschwingungen ausführende rechteckige oder runde Platte (s. beispielsweise D.A. Gershgal, V. M. Fridman "Ultraschallapparatur", Moskau, "Energija", 1967) oder ein kegelförmiger Trichter (s. beispielweise die CS-PS 127 675) in Frage.

Ein derartiges Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche setzt aber den berechneten Verstärkungsfaktor für den Konzentrator erheblich herab, gibt keine gleichmäßige Verteilung der Schwingungsamplituden über die Strahlungsfläche, ist aufgrund häufiger Brüche in der Kupplungsebene mit dem Konzentrator unzuverlässig im Betrieb und für eine Frequenzanpassung nur beschränkt geeignet und erlaubt es nicht, hohe Amplitudenwerte für die Schwingungsgeschwindigkeit zu erzielen, was seine Anwendung ebenfalls begrenzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Ultraschall-Geschwindigkeitstransformator zu schaffen, bei dem die Ausnutzung eines Stabes von Resonanzlänge nach dem Längsschwingungsmodus als Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche die Erzielung einer praktisch gleichmäßigen Verteilung der Amplitude der Schwingungsgeschwindigkeit bis zu einem Wert von 1500 bis 3000 cm/sec über die Strahlungsfläche mit einem Flächeninhalt ungefähr gleich dem Querschnitts seines Eingangsendes sowie hohe Anpassungs- und Festigkeitseigenschaften sicherstellt.

Die gestellte Aufgabe wird bei einem Ultraschall-Geschwindigkeitstransformator mit einem Stufenkonzentrator von Resonanzlänge nach dem Längsschwingungsmodus, dessen schmales Ende mit einem Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche dieses Konzentrators starr verbunden ist, erfundengemäß dadurch gelöst, daß als Mittel zur Vergrößerung der Strah-

. 10 .

lungsfläche des Konzentrators ein Stab von Resonanzlänge nach dem Längsschwingungsmodus vorgesehen ist.

Zweckmäßig wird der Stab mit einem konstanten Querschnitt ausgeführt, der größer ist als der des schmalen Endes des Konzentrators.

Auch kann der Stab mit Vorteil aus einem sich erweiternden Abschnitt, dessen Länge  $l$  ungefähr gleich  $\frac{\ln N}{k}$  ist, wobei  $N$  eine Quadratwurzel aus dem Flächenverhältnis der Querschnitte des breiten und des schmalen Endes des sich erweiternden Abschnitts des Stabes,  $k$  die Wellenzahl bedeuten, und einem Abschnitt mit konstantem Querschnitt bestehen, die in Strahlungsrichtung hintereinander liegen, wobei die Querschnittsflächen des schmalen und des breiten Endes des sich erweiternden Abschnitts des Stabes den Querschnittsflächen des schmalen Endes des Konzentrators bzw. des Abschnitts des Stabes mit konstantem Querschnitt gleich sind.

Vorteilhaft weist der sich erweiternde Abschnitt des Stabes Kegelform auf; günstig ist aber auch eine exponentielle Form für den sich erweiterenden Abschnitt des Stabes.

Ein erfindungsgemäß ausgebildeter Geschwindigkeitstransformator gewährleistet die Erzeugung von stabilen mechanischen Längsschwingungen vorgegebener Amplitude und Frequenz auf einer Querschnittsfläche, die ungefähr gleich der Querschnittsfläche seines Eingangsendes ist. Die obere Grenze für die Schwingungsgeschwindigkeit des ausstrahlenden Endes des Geschwindigkeitstransformators ist lediglich durch die Schwingungsfestigkeit des zu dessen Fertigung gewählten Materials, und die Strahlungs-

• M.

fläche wird nur durch die potentiellen Möglichkeiten des elektromechanischen Wandlers beschränkt. Die Ausführung des sich erweiternden Abschnitts des Stabes mit der Länge  $\frac{\ln N}{k}$  setzt den Wert des Verstärkungsfaktors des Geschwindigkeitstransformators, der vom Verstärkungsfaktor des Stufenkonzentrators geringfügig abweicht, praktisch nicht herab, erleichtert aber die Frequenzanpassung im Vergleich zu einem Stab mit Stufenkonzentrator wesentlich und erhöht die Festigkeit des Transformators. Die kegelförmige Ausführung des sich erweiternden Abschnitts des Stabes erleichtert die Bemessung und die Herstellung des Geschwindigkeitstransformators erheblich. Die Herstellung des sich erweiternden Abschnitts des Stabes mit exponentialer Form gestattet es, für die erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformatoren höchstmögliche Verstärkungsfaktoren in Abhängigkeit vom Flächenverhältnis zwischen den Querschnitten der breiten und der schmalen Enden der ihn zusammensetzenden Abschnitte zu erhalten. Die Ausführung des sich erweiternden Abschnitts des Stabes mit einer sowohl für kegelige wie auch für exponentiale Formen nur vom Flächenverhältnis der Querschnitte des breiten und des schmalen Endes des Stabes abhängigen Länge erlaubt es, verschiedene Bauformen für Geschwindigkeitstransformatoren zu vereinheitlichen und bei einer Analyse von der Methode verallgemeinerter Parameter Gebrauch zu machen, was die Berechnungen sehr erleichtert, indem sie auf elementar einfache Rechnungen reduziert werden.

Die Erfindung wird anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele mittels der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

• 14.

Fig. 1 bis 12 Seitenansichten in teilweise geschnittener Darstellung für zwölf Ausführungsformen von Ultraschall-Geschwindigkeitstransformatoren;

Fig. 13 eine Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Ultraschallschwingungen mit einem Geschwindigkeitstransformator;

Fig. 14 eine graphische Darstellung der Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors  $M$  eines Geschwindigkeitstransformators vom Wert  $N$  der Ausgangskennlinie des Transformators;

Fig. 15 eine graphische Darstellung der Abhängigkeit des reduzierten Übertragungsmaßes  $\Psi_p$  eines Geschwindigkeitstransformators vom Wert der Ausgangskennlinie  $N$  des Transformators;

Fig. 16 eine graphische Darstellung der Abhängigkeit des elektroakustischen Wirkungsgrades  $\eta$  in einem System elektromechanischer Wandler - Geschwindigkeitstransformator - Belastung vom Wert der Schwingungsamplitude  $A_1$  am Ausgang eines erfindungsgemäß ausgebildeten Transformators, eines Stufenkonzentrators mit einem kegelförmigen Übergangsabschnitt und eines Exponentialkonzentrators.

Der in Fig. 1 dargestellte Geschwindigkeitstransformator enthält einen Zwei-Viertelwellen-Stufenkonzentrator bildende Stäbe 1 und 2, wobei das offene Ende des Stabes 2 als Strahlungsfläche auftritt, der Transfomator enthält auch ein Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche des Konzentrators, das bei dem beschriebenen Beispiel in

- ✓ -

• A?.

Form eines an das genannte Ende des Stabes 2 starr gekoppelten Stabes 3 ausgeführt ist. Die Stäbe 1 und 2 sind in gleicher Länge

$$l_{1,2} = \lambda / 4 \quad (1)$$

ausgeführt, wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Längsschwingungen im Stab konstanten Querschnitts ( $\lambda = 2\pi/k$ ;  $k = \omega/c$ ;  $\omega$  - Kreisfrequenz;  $c$  - Schallgeschwindigkeit) bedeutet.

Die Länge des Stufenkonzentrators

$$l_{1-2} = \lambda / 4 \quad (2)$$

Der Stab 3 ist mit einer Halbwellenlänge entsprechender Länge  $l_3$  ausgeführt:

$$l_3 = \lambda / 2 \quad (3)$$

Die Gesamtlänge des Geschwindigkeitstransformators beträgt:

$$l = \lambda \quad (4)$$

Die Stäbe 1, 2 und 3 sind als Zylinder ausgeführt, deren Durchmesser  $D_o, d$  bzw.  $D_1$  betragen, wobei  $D_o = D_1$  ist.

Der theoretische Verstärkungsfaktor des Stufenkonzentrators ist:

$$M_{1-2} = N^2 \quad (5)$$

wobei  $N = D_o/d$  die Ausgangskennlinie ist, die im allgemeinen als die Quadratwurzel aus dem Flächenverhältnis der Querschnitte der Stäbe 1 und 2 ermittelt wird.

• 14.

Unter einem Verstärkungsfaktor wird ein Amplitudenverhältnis von Längsverschiebungen am Aus- und Eingang des Konzentrators (des Geschwindigkeitstransformators) verstanden.

Der Stab 3 transformiert die Verschiebungsamplitude nicht, der gesamte Verstärkungsfaktor des Geschwindigkeitstransformators ist daher

$$M = A_1/A_0 = M_{1-2} \quad (6)$$

wobei  $A_0$  und  $A_1$  die Amplituden der Längsverschiebungen am Ein- bzw. Ausgang sind.

Auf solche Weise wird in Strahlungsrichtung des erfundsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformators ungeachtet der Flächengleichheit der Querschnitte am Ein- und Ausgang eine Verstärkung nach der Verschiebungsamplitude erreicht.

Es ist naheliegend, die potentiellen Möglichkeiten der Geschwindigkeitstransformatoren durch ein Verhältnis von Schwingungsenergien an deren Aus- und Eingang zu charakterisieren, das als ein reduziertes Übertragungsmaß bezeichnet wird.

$$\Psi_p = w_1/w_0, \quad (7)$$

wobei für  $w_0 = \frac{\rho \cdot c \cdot v_0^2}{2} \cdot s_0; \quad (8)$

und für  $w_1 = \frac{\rho \cdot c \cdot v_1^2}{2} \cdot s_1; \quad (9)$

gilt.

• 15 •

In diesen Beziehungen sind  
 $w_0$  und  $w_1$  die Schwingungsenergien am Eingang bzw. am Ausgang des Geschwindigkeitstransformators;  
 $\rho$  die Dichte des Materials, aus dem der genannte Transformator hergestellt ist;  
 $v_0 = \omega A_0$  und  $v_1 = \omega A_1$  die Amplituden der Verschiebungsgeschwindigkeiten am Eingang bzw. am Ausgang des Geschwindigkeitstransformators und  
 $s_0$  und  $s_1$  die Querschnittsflächen am Eingang bzw. am Ausgang des Geschwindigkeitstransformators.

Für den erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformator ist

$$\psi_p = N^4; \quad (10)$$

für einen Zwei-Viertelwellen-Stufenkonzentrator ist

$$\psi_p = N^2; \quad (11)$$

für einfache, in Form von exponentialen, kegeligen und catenoidalnen Stäben ausgeführte Konzentratoren ist

$$\psi_o \approx N, \quad (12)$$

was den Vorteil des vorliegenden Geschwindigkeitstransformators gegenüber den bekannten Konzentratoren im Hinblick auf die Übertragung der potentiellen Energie der leistungsstarken elektromechanischen Wandler in die zu verarbeitenden Medien veranschaulicht.

In Fig. 2 ist ein zweites Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das der oben beschriebenen ähnlich ist.

• 16 •

Der Unterschied des Geschwindigkeitstransformators nach Fig. 2 besteht darin, daß er an den elektroakustischen Wandler über einen Stab 3 umgekoppelt wird. Für solch einen Transformator gilt

$$M = 1/N^2; \quad (13)$$

$$\Psi_p \leq 1, \quad (14)$$

was es im Vergleich zu den bekannten Bauformen gestattet, die niedrigsten Werte für den Verstärkungsfaktor und das reduzierte Übertragungsmaß zu erhalten.

In Fig. 3 ist ein drittes Ausführungsbeispiel des Geschwindigkeitstransformators, das den oben beschriebenen ähnlich ist, dargestellt.

Der Unterschied besteht darin, daß der Stufenkonzentrator und das Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche dieses Konzentrators mit kegelförmigen Abschnitten in einer Länge

$$l_{2,4} \approx \ln N/k \quad (15)$$

ausgeführt sind.

Der Stufenkonzentrator nach dem dritten Ausführungsbeispiel enthält zwei Zylinderstäbe 1 und 2 gleicher Länge ( $l_1 = l_3 \leq 3 \leq \lambda/4$ ) und einen sich verjüngenden Übergangsabschnitt 4 der Länge  $l_2$ , deren Gesamtlänge gleich der Halbwellenlänge unter Berücksichtigung einer Dispersion der Schallgeschwindigkeit auf dem sich verjüngenden Abschnitt ( $l_{1-3} = \lambda'/2$ ) ist.

. 17.

Das Mittel zur Vergrößerung der Strahlungsfläche ist in Form eines sich erweiternden Abschnitts 5 der Länge  $l_4$  und eines Zylinderstabes 3' der Länge  $l_5$  ausgeführt. Die Länge  $l_{4-5} = \lambda' \sqrt{2}$ .

Die Gesamtlänge des Geschwindigkeitstransformators  $l = \lambda'$ .

Die Querschnittsflächen der Abschnitte 4 und 5 der Stäbe 1, 2 und 3' sind an den Verbindungsstellen gleich.

Der beschriebene Geschwindigkeitstransformator gewährleistet gute Frequenzanpassung, hohe Festigkeit und Übereinstimmung der berechneten mit den tatsächlichen Verstärkungsfaktoren.

Ein derartiger Geschwindigkeitstransformator wird aufgrund von Beziehungen:

$$16) kl_{1,3} = \arctg \left[ \frac{\frac{(N-1)^2}{2N \ln N} + ctg \ln N + \sqrt{ctg^2 \ln N + 1 +}}{(\frac{N^2 - 1}{2N \ln N})^2 / ;} \right]$$

$$17) kl_2 = \ln N;$$

$$18) kl_{1-3} = 2 kl_{1,3} + kl_2;$$

$$19) kl_4 = \ln N;$$

$$20) kl_5 = \text{arctg} \left\{ \frac{\frac{(N-1)^2}{2N \ln N} \ln N \left[ N \ln^2 N + (N-1)^2 \right] \operatorname{tg} \ln N}{\left[ \ln N + (N-1) \operatorname{tg} \ln N \right] N \ln N} \right\};$$

\*AP.

$$21) k_{l4-5} = k_{l4} + k_{l5};$$

$$22) k_l = 2k_{l1,3} + 2k_{l2,4} + k_{l5};$$

$$23) M_{1-3} = \sqrt{N(\cos \ln N - \operatorname{tg} p \sin \ln N)};$$

$$24) M_{4-5} = \left| \frac{1}{N} \frac{\cos k_{l1,3}}{\cos \ln N} \cdot \frac{\ln N}{\ln N + (N-1) \operatorname{tg} \ln N} \right|;$$

$$25) M = M_{1-3} \cdot M_{4-5} \geq 1;$$

$$26) \operatorname{tg} p = \operatorname{tg} k_{l1,3} + \frac{N-1}{N \ln N},$$

berechnet.

In diesen Beziehungen sind  $M_{1-3}$  der Verstärkungsfaktor des Stufenkonzentrators mit einem kegelförmigen Übergangsabschnitt;

$M_{4-5}$  das Übertragungsmaß des Mittels zur Vergrößerung der Strahlungsfläche;

$M$  der Verstärkungsfaktor des Geschwindigkeitstransformators.

In der nachstehenden Tabelle 1 sind Zahlenwerte zu den Beziehungen (16) bis (25) zusammengestellt.

Tabelle 1

N	M <sub>1-3</sub>	M <sub>4-5</sub>	M	k <sub>l1,3</sub>	k <sub>l2,4</sub>	k <sub>l1-3</sub>	k <sub>l5</sub>	k <sub>l4-5</sub>	k <sub>l</sub>
1,0	1,00	1,00	1,00	1,57	0,00	3,14	3,14	3,14	6,28
1,1	1,21	1,00	1,21	1,52	0,10	3,14	3,06	3,15	6,29

2606997

- 47 -

• 19.

N	M <sub>1-3</sub>	M <sub>4-5</sub>	M	k <sub>l<sub>1,3</sub></sub>	k <sub>l<sub>2,4</sub></sub>	k <sub>l<sub>1-3</sub></sub>	k <sub>l<sub>5</sub></sub>	k <sub>l<sub>4-5</sub></sub>	k <sub>l</sub>
1,2	1,44	1,00	1,43	1,48	0,18	3,14	2,99	3,17	6,32
1,3	1,68	0,99	1,67	1,44	0,26	3,15	2,93	3,20	6,35
1,4	1,95	0,98	1,92	1,41	0,34	3,16	2,89	3,23	6,39
1,5	2,23	0,98	2,18	1,38	0,40	3,17	2,85	3,26	6,43
1,6	2,52	0,97	2,44	1,36	0,47	3,19	2,82	3,29	6,48
1,7	2,82	0,96	2,71	1,34	0,53	3,21	2,79	3,32	6,53
1,8	3,14	0,95	2,98	1,32	0,59	3,23	2,77	3,36	6,58
1,9	3,47	0,94	3,25	1,30	0,64	3,25	2,74	3,39	6,64
2,0	3,81	0,92	3,53	1,29	0,69	3,27	2,72	3,42	6,69
2,1	4,16	0,91	3,80	1,28	0,74	3,30	2,70	3,45	6,75
2,2	4,52	0,90	4,08	1,27	0,79	3,32	2,69	3,48	6,80
2,3	4,89	0,89	4,36	1,26	0,83	3,35	2,67	3,50	6,86
2,4	5,27	0,88	4,64	1,25	0,88	3,38	2,66	3,53	6,91
2,5	5,65	0,87	4,92	1,24	0,92	3,41	2,64	3,56	6,96
2,6	6,04	0,86	5,19	1,24	0,96	3,44	2,63	3,58	7,02
2,7	6,44	0,85	5,47	1,24	0,99	3,46	2,61	3,60	7,07
2,8	6,84	0,84	5,74	1,23	1,03	3,49	2,60	3,63	7,12
2,9	7,25	0,83	6,02	1,23	1,06	3,52	2,59	3,65	7,17
3,0	7,66	0,82	6,28	1,22	1,10	3,55	2,57	3,67	7,22
3,1	8,08	0,81	6,56	1,22	1,13	3,58	2,56	3,69	7,27
3,2	8,50	0,80	6,82	1,22	1,16	3,60	2,55	3,71	7,32
3,3	8,92	0,79	7,08	1,22	1,19	3,63	2,54	3,73	7,37

709834/0176

2606997

N	M <sub>1-3</sub>	M <sub>4-5</sub>	M	k <sub>l1,3</sub>	k <sub>l2,4</sub>	k <sub>l1-3</sub>	k <sub>l5</sub>	k <sub>l4-5</sub>	k <sub>l</sub>
3,4	9,35	0,78	7,34	1,22	1,22	3,66	2,53	3,75	7,71
3,5	9,78	0,78	7,60	1,22	1,25	3,68	2,52	3,77	7,46
3,6	10,22	0,77	7,85	1,22	1,28	3,71	2,51	3,79	7,50
3,7	10,65	0,76	8,10	1,22	1,31	3,74	2,50	3,81	7,55
3,8	11,09	0,75	8,35	1,22	1,34	3,76	2,49	3,82	7,59
3,9	11,53	0,74	8,59	1,22	1,36	3,79	2,48	3,84	7,63
4,0	11,97	0,74	8,83	1,22	1,39	3,82	2,47	3,86	7,68

Derartige Tabellen, in denen die verallgemeinerten Hauptparameter eines Geschwindigkeitstransformators in Abhängigkeit vom Wert seiner Ausgangskennlinie, deren Änderungsschritt genügend klein ist, zusammengestellt sind, sind in der täglichen Rechenpraxis sehr bequem im Vergleich zu den für diese Zwecke meist verwendeten graphischen Darstellungen und Nomogrammen.

Die Tabelle 1 gestattet es, Verstärkungsfaktoren und Längen zu ermitteln. Wenn  $D_o/d \neq D_1/d$  ist, so sind für die Stäbe 1, 2 und 3' und die Abschnitte 4 und 5 des Geschwindigkeitstransformators die gesuchten Werte aus verschiedenen, den vorgegebenen Werten N entsprechenden Zeilen zu entnehmen.

In Fig. 4 ist ein vierter Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das den oben beschriebenen ähnlich ist.

• 81.

Der Unterschied besteht darin, daß die Abschnitte 4 (Fig. 4), 5 in exponentialer Form ausgeführt sind, was es gestattet, praktisch höchstmögliche Verstärkungsfaktoren zu erhalten.

Ein derartiger Geschwindigkeitstransformator wird aufgrund der Beziehungen:

$$27) \text{ kl}_{1,3} = \frac{1}{2} \arctg \left[ -\frac{n}{\sqrt{n^2-1}} \cdot \tg \left( \sqrt{n^2-1} \cdot \ln N \right) \right];$$

$$28) \text{ kl}_2 = \ln N;$$

$$29) \text{ kl}_{1-3} = 2\text{kl}_{1,3} + \text{kl}_2;$$

$$30) \text{ kl}_4' = \ln N;$$

$$31) \text{ kl}_5 = \widetilde{\arctg} \left[ -n + \sqrt{n^2-1} \cdot \ctg \left( \sqrt{n^2-1} \cdot \ln N \right) \right];$$

$$32) \text{ kl}_{4-5} = \text{kl}_4 + \text{kl}_5;$$

$$33) \text{ kl} = 2\text{kl}_{1,3} + 2\text{kl}_{2,4} + \text{kl}_5;$$

$$34) M_{1-3} = \left| N \left[ \cos \left( \sqrt{n^2-1} \cdot h v N \right) - \tg P_1 \sin \left( \sqrt{n^2-1} \ln N \right) \right] \right|$$

$$35) M_{4-5} = 1 / \left| \frac{N \cos \text{kl}_5}{\frac{\sin \left( \sqrt{n^2-1} \ln N \right)}{\sqrt{n^2-1}} + \cos \left( \sqrt{n^2-1} \ln N \right)} \right|,$$

$$36) M = M_{1-3} \cdot M_{1-5} \quad .11.$$

$$37) \operatorname{tg} p_1 = \frac{n}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot \operatorname{tg} k l_{1,3} + \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}} ;$$

berechnet, wobei  $n \rightarrow I$ , aber geringfügig größer ist.

In der nachstehenden Tabelle 2 sind Zahlenwerte zu den Beziehungen (27) bis (36) zusammengestellt.

Tabelle 2

N	M <sub>1-3</sub>	M <sub>4-5</sub>	M	k <sub>l</sub> <sub>1,3</sub>	k <sub>l</sub> <sub>2,4</sub>	k <sub>l</sub> <sub>1-3</sub>	k <sub>l</sub> <sub>5</sub>	k <sub>l</sub> <sub>4-5</sub>	k <sub>l</sub>
1,00	1,00	1,00	1,00	1,57	0,00	3,14	3,14	3,14	6,28
1,25	1,56	1,00	1,55	1,46	0,22	3,14	3,96	3,18	6,32
1,50	2,23	0,98	2,19	1,38	0,40	3,16	2,84	3,24	6,40
1,75	2,98	0,97	2,88	1,32	0,56	3,20	2,75	3,31	6,50
2,00	3,82	0,95	3,62	1,27	0,69	3,23	2,68	3,37	6,60
2,25	4,72	0,93	4,39	1,23	0,81	3,27	2,62	3,43	6,70
2,50	5,68	0,92	5,19	1,20	0,92	3,32	2,57	3,48	6,80
2,75	6,69	0,90	6,02	1,18	1,01	3,37	2,52	3,53	6,89
3,00	7,75	0,88	6,87	1,16	1,10	3,42	2,48	3,58	6,99
3,25	8,85	0,87	7,75	1,14	1,18	3,46	2,44	3,62	7,08
3,50	10,00	0,86	8,66	1,12	1,25	3,49	2,41	3,66	7,16
3,75	11,17	0,86	9,59	1,11	1,32	3,54	2,38	3,70	7,24
4,00	12,38	0,86	10,54	1,10	1,39	3,59	2,35	3,73	7,32

• 23.

In Fig. 5 ist ein fünftes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das gleichfalls den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied besteht darin, daß der Stab 1 (Fig. 5) in einer Viertelwellenlänge  $l_1$  ausgeführt ist, was es erlaubt, den Geschwindigkeitstransformator an der Stoßstelle des Stabes 1 mit dem Abschnitt 4, wo der Querschnitt konstant ist, sehr einfach zu befestigen.

Ein derartiger Geschwindigkeitstransformator wird aufgrund der Beziehungen:

$$38) \quad kl_1 = \frac{\sqrt{y}}{2};$$

$$39) \quad kl_2 = \ln N;$$

$$40) \quad kl_3 = \arcsin \frac{1 + \ln N}{\sqrt{1 + 2\ln N + 2\ln^2 N}};$$

$$41) \quad kl_{1-3} = kl_1 + kl_2 + kl_3;$$

$$42) \quad kl_4 = \ln N;$$

$$43) \quad kl_5 = \tilde{H} - \arcsin \frac{\ln N}{\sqrt{1+2\ln N}};$$

$$44) \quad kl_{4-5} = kl_4 + kl_5;$$

$$45) \quad kl = kl_1 + 2kl_{2,4} + kl_3 + kl_5;$$

- 22 -

2606997

• 24.

$$46) M_{1-3} = \left| N \sqrt{1 + 2\ln N + 2\ln^2 N} \right|;$$

$$47) M_{4-5} = 1 / \left| \frac{N}{1 + \ln N} \right| \left| \sqrt{\frac{1 + 2\ln N - \ln^2 N}{1 + 2\ln N}} \right|;$$

$$48) M = M_{1-3} \cdot M_{4-5};$$

berechnet.

Nachstehend soll eine Tabelle 3 mit Zahlenwerten zu den Beziehungen (38) bis (48) angegeben werden.

Tabelle 3

N	M <sub>1-3</sub>	M <sub>4-5</sub>	M	k <sub>1</sub> <sub>2,4</sub>	k <sub>1</sub> <sub>3</sub>	k <sub>1</sub> <sub>1-3</sub>	k <sub>1</sub> <sub>5</sub>	k <sub>1</sub> <sub>4-5</sub>	k <sub>1</sub>
1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,57	3,14	3,14	3,14	6,28
1,25	1,55	1,00	1,55	0,22	1,39	3,18	2,96	3,18	6,36
1,50	2,19	0,98	2,16	0,40	1,29	3,26	2,84	3,24	6,51
1,75	2,90	0,97	2,80	0,56	1,23	3,36	2,75	3,31	6,66
2,00	3,66	0,95	3,47	0,69	1,18	3,44	2,68	3,37	6,82
2,25	4,48	0,93	4,15	0,81	1,15	3,53	2,62	3,43	6,96
2,50	5,31	0,92	4,85	0,92	1,12	3,61	2,57	3,48	7,09
2,75	6,19	0,90	5,57	1,01	1,10	3,68	2,52	3,53	7,21
3,00	7,11	0,88	6,30	1,10	1,09	3,76	2,48	3,58	7,34
3,25	8,05	0,87	7,05	1,18	1,08	3,83	2,44	3,62	7,45
3,50	9,02	0,86	7,81	1,25	1,06	3,88	2,41	3,66	7,55
3,75	10,01	0,86	8,60	1,32	1,05	3,94	2,38	3,70	7,64
4,00	11,03	0,86	9,40	1,39	1,04	4,00	2,35	3,73	7,74

709834/0176

- 45 -

In Fig. 6 ist ein sechstes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied besteht darin, daß an den Ausgang des Geschwindigkeitstransformators 6 (Fig. 6) der Länge  $l'$  ein kegelförmiger Konzentrator 7 der Länge  $l'/2$  starr angekoppelt ist, was es gestattet, Amplituden für die Schwingungsgeschwindigkeit zu erhalten, welche die zulässigen Grenzwerte für die Stäbe konstanten Querschnitts im Betrage um ein Vielfaches übertreffen.

In Fig. 7 ist ein siebentes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das auch den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied besteht darin, daß an den Ausgang des Geschwindigkeitstransformators Zylinderstäbe 8 (Fig. 7) und 9 der Resonanzlänge  $\lambda/2$  starr angekoppelt sind, was es gestattet, die Strahlungsfläche in Strahlungsrichtung (x-Achse) zu verteilen. Zu diesem Zweck ist die Querschnittsfläche des Stabes 8 kleiner als die des Stabes 3' und größer als die des Stabes 9.

In Fig. 8 ist ein achtes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied besteht darin, daß der Stab 10 (Fig. 8) mit einer Querschnittsfläche ausgeführt ist, welche die Querschnittsfläche des Stabes 8 übersteigt. Dies erlaubt es, die Strahlungsenergie in entgegengesetzte Richtungen zu verteilen.

. 26.

In Fig. 9 ist ein neuntes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das auch den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied besteht darin, daß an den Ausgang des Geschwindigkeitstransformators 6 ein dünnwandiges Rohr 11 (Fig. 9) von Resonanzlänge  $\lambda/2$  starr angekoppelt ist. Dies erlaubt es, die gesamte Strahlungsenergie innerhalb des genannten Rohres 11 zu lokalisieren.

In Fig. 10 ist ein zehntes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied dieses Geschwindigkeitstransformators besteht darin, daß er mit einem axialen Durchgangskanal 12 (Fig. 10) und Querkanälen 13 ausgeführt ist, was es gestattet, die zu verarbeitenden Medien über die genannten Kanäle dem Ausgangsende des Geschwindigkeitstransformators zuzuführen. Ein am Eingang des Transformators vorgesehenes Gewindeloch 14 ist zur Befestigung des Geschwindigkeitstransformators an einem in der Zeichnung nicht dargestellten elektromechanischen Wandler bestimmt.

In Fig. 11 ist ein elftes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied besteht darin, daß an den Ausgang des Geschwindigkeitstransformators 6 ein Zylinderstab 15 (Fig. 11) mit Resonanzlänge nach dem Längsschwingungsmodus starr angekoppelt ist, an dem dünne Platten 16 starr befestigt sind. Dies gestattet es, durch die Erregung

• 27.

von Biegungsschwingungen in den genannten Platten 16 große Mengen von Werkstoffen zu behandeln.

In Fig. 12 ist ein zwölftes Ausführungsbeispiel für einen Geschwindigkeitstransformator dargestellt, das auch den oben beschriebenen ähnlich ist.

Der Unterschied besteht darin, daß zwei Geschwindigkeitstransformatoren 6 (Fig. 12) in Reihe geschaltet sind. Dies gestattet es, eine Verstärkung der Amplitude der Verschiebungsgeschwindigkeit um ein Vielfaches von 10 zu erhalten, was beispielsweise im Falle der Verwendung von elektromechanischen Wandlern vom piezoelektrischen Typ mit kleiner Amplitude für Erregung eines Geschwindigkeitstransformators wichtig ist.

Bei Verwendung eines erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformators in Einrichtungen beispielsweise zur Reinigung, Schweißung oder Dispergierung wird der Eingang des letzteren mit dem Ausgang eines von einem Generator 18 für elektrische Schwingungen erregten elektromechanischen Wandlers 17 (Fig. 13) starr gekoppelt.

Ein erfindungsgemäß ausgebildeter Geschwindigkeitstransformator arbeitet wie folgt:

Der Geschwindigkeitstransformator 6 (Fig. 13) wird über sein Eingangsende mit dem Ausgang des vom Generator 18 für harmonische elektrische Schwingungen erregten elektromechanischen Wandlers 17 akustisch starr verbunden.

Zur Sicherung der Erregung des Geschwindigkeitstransformators 6 darf seine Eigenschwingungsfrequenz nicht

. 28.

wesentlich von der Resonanzfrequenz des Wandlers 17 abweichen. Eine beträchtliche Frequenzverstimmung zwischen dem Geschwindigkeitstransformator 6 und dem Wandler 17 (beispielsweise um einige hundert Hz) wird durch Verkürzung der Länge der Ausgangsstufe des Geschwindigkeitstransformators 6 beseitigt, wenn dessen Eigenfrequenz unterhalb der Resonanzfrequenz des Wandlers 17 liegt.

Im Geschwindigkeitstransformator 6 werden stehende Langswellen erregt. Ein geringer, im Betrage unterhalb der potentiellen Leistung des elektromechanischen Wandlers 17 liegender Teil der Energie dieser Wellen wird in das zu behandelnde Medium abgestrahlt.

Die Arbeitsweise der Geschwindigkeitstransformatoren nach deren übrigen Ausführungsbeispielen ist analog zu der oben beschriebenen.

Zum besseren Verständnis der Arbeitsweise des Geschwindigkeitstransformators ist in Fig. 14 eine graphische Darstellung der Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors M vom Wert N der Ausgangskennlinie des Transformators wiedergegeben, wobei entlang der Ordinatenachse der Verstärkungsfaktor M und entlang der Abszissenachse die Ausgangskennlinie N aufgetragen sind. Bei der genannten graphischen Darstellung entspricht die Kurve "a" dem in Fig. 1 gezeigten Geschwindigkeitstransformator; die Kurve "b" dem in Fig. 3 gezeigten Geschwindigkeitstransformator; die Kurve "c" dem in Fig. 4 gezeigten Geschwindigkeitstransformator.

Fig. 15 zeigt eine graphische Darstellung der Abhängigkeit des reduzierten Übertragungsmaßes  $\Psi_p$  eines

.49.

erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformators vom Wert der Ausgangskennlinie  $N$  des Transformators, wobei entlang der Ordinatenachse das reduzierte Übertragungsmaß  $\Psi_p$  und entlang der Abszissenachse die Ausgangskennlinie  $N$  aufgetragen sind. Die in Fig. 15 dargestellten Abhängigkeiten entsprechen den gleichen Ausführungsbeispielen wie in Fig. 14. Die Kurven "a", "b" und "c" in Fig. 14 und 15 sind mit  $D_0 = D_1$  erhalten.

Aus einem Vergleich der in Fig. 14 und 15 dargestellten Kurven "a", "b" und "c" ist ersichtlich, daß die Verstärkungsfaktoren  $M$  und die reduzierten Übertragungsmaße  $\Psi_p$  der betrachteten, besonders charakteristischen Ausführungsbeispiele im Bereich geringer Werte der Ausgangskennlinie  $N$  nur wenig voneinander abweichen. Praktisch werden gerade diese Werte der Ausgangskennlinie und meist mit  $N \leq 2$  bis 3 ausgenutzt, weil sonst die Gefahr eines Verlustes der Querstabilität des Geschwindigkeitstransformators akut wird. Wenn sehr hohe Werte für den Verstärkungsfaktor  $M$  gewünscht werden, wird eine Reihenschaltung aus mehreren Geschwindigkeitstransformatoren (s. Fig. 6 und 12) verwendet. Hierbei sei bemerkt, daß die von den betrachteten Ausführungsbeispielen besten Kennlinien eines (in Fig. 1 dargestellten) Geschwindigkeitstransformators mit Stufenübergängen lediglich theoretisch realisierbar sind, in erster Linie wegen der Schwierigkeiten bei der Erregung eines derartigen Geschwindigkeitstransformators, dessen Profil die Ausbildung von stehenden Wellen keinesfalls begünstigt. In der Praxis ist es deshalb vorteilhafter, Geschwindigkeitstransformatoren ohne stufenweise Änderung der Querschnittsfläche zu verwenden. Bei einem erfindungsgemäß ausgebilde-

• 30 •

ten Geschwindigkeitstransformator ist die Verwendung von Übergangsabschnitten, beispielsweise von kegeliger oder exponentialer Form, bevorzugt, die es den Wellen ermöglichen, sich entlang des gesamten Querschnitts dieser Abschnitte stufenlos auszubreiten. Die anderen Arten von stufenlosen Übergangsabschnitten beispielsweise die von katenoidalner Form, sind weniger effektiv. Dies ergibt sich aus einem Vergleich der Verstärkungsfaktoren der Geschwindigkeitstransformatoren mit derartigen Abschnitten mit den Verstärkungsfaktoren der erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformatoren.

Die erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformatoren gestatten es, die potentiellen Möglichkeiten der leistungsstärksten bekannten elektroakustischen Wandler praktisch vollständig auszunutzen. Zur Bestätigung dieser Tatsache sind in Fig. 16 die Ergebnisse einer experimentellen Ermittlung der Abhängigkeit des elektroakustischen Wirkungsgrades  $\eta$  bei einem System elektroakustischer Wandler - Geschwindigkeitstransformator - Wasser vom Wert der Schwingungsamplitude  $A_1$  einer ins Wasser getauchten Strahlungsfläche wiedergegeben. Entlang der Ordinatenachse ist der elektroakustische Wirkungsgrad  $\eta$  und entlang der Abszissenachse die Schwingungsamplitude  $A_1$  der Strahlungsfläche bei einer Schwingungsfrequenz von 18 kHz aufgetragen.

In der genannten graphischen Darstellung entspricht die Kurve "a" dem in Fig. 3 gezeigten Geschwindigkeitstransformator; die Kurve "d" entspricht einem Stufenkonzentrator mit einem kegelförmigen Übergangsabschnitt und die Kurve "e" einem Konzentrator von exponentialer Form;

## • 31.

die Gerade "f" zeigt den maximal möglichen Wirkungsgrad des verwendeten Wandlers und den Wert des elektroakustischen Wirkungsgrades des Systems mit einem Geschwindigkeitstransformator nach Fig. 11. Die genannten Geschwindigkeitstransformatoren wurden mit  $D_0 = 65$  mm in Übereinstimmung mit dem Durchmesser des Ausgangsendes des Wandlers ausgeführt.

Aus der graphischen Darstellung ist ersichtlich, daß die bekannten Konzentratoren (stufenweise und exponential) nur Werte für den elektroakustischen Wirkungsgrad erzielen lassen, die um ein Vielfaches kleiner sind als der potentiell mögliche Wert. Nur ein erfindungsgemäß ausgebildeter Geschwindigkeitstransformator gibt die Möglichkeit, die potentiellen Möglichkeiten des elektromechanischen Wandlers praktisch völlig auszunutzen.

Es sei bemerkt, daß im allgemeinen der elektroakustische Wirkungsgrad der gesamten Ultraschallanlage, der durch die Beziehung

$$\eta = \Psi \cdot \eta_g \cdot \eta_T \cdot \eta_k \quad (49)$$

definiert ist, in der  $\Psi = 1$  das Übertragungsmaß des Geschwindigkeitstransformators und  $\eta_g$ ,  $\eta_T$  und  $\eta_k$  die Wirkungsgrade (potentielle Werte) des Generators, des Wandlers bzw. des Geschwindigkeitstransformators ( $\eta_g \leq 0,5$  bis 0,9;  $\eta_T = 0,3$  bis 0,9;  $\eta_k \leq 0,9$  bis 0,99) sind, praktisch durch den Wert des Übertragungsmaßes für den Geschwindigkeitstransformator bestimmt wird, das seinerseits von der Größe der Strahlungsfläche und der Strahlungsintensität für das zu behandelnde Medium abhängig ist.

Die erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeits-

2606997

- 30 -

-32.

transformatoren gestatten es, gleichzeitig die Verschiebungsamplitude zu ändern und die Strahlungsfläche zu vergrößern, was die Erhaltung von sehr hohen Werten für den elektroakustischen Wirkungsgrad ermöglicht.

Die erfindungsgemäß ausgebildeten Geschwindigkeitstransformatoren gestatten es, leistungsstarke akustische Schwingungen vorgegebener Frequenz in einem Intensitätsbereich von Bruchteilen bis zu Hunderten  $\text{W/cm}^2$  bei maximaler Ausnutzung der potentiellen Möglichkeiten der elektromechanischen Wandler zu erzeugen, was ein wichtiger Faktor für die Intensivierung verschiedener physikalisch-chemischer Vorgänge ist.

~~33~~  
Leerseite

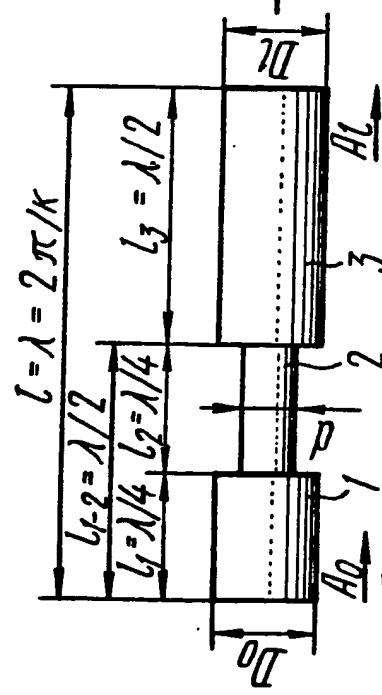


FIG. 1

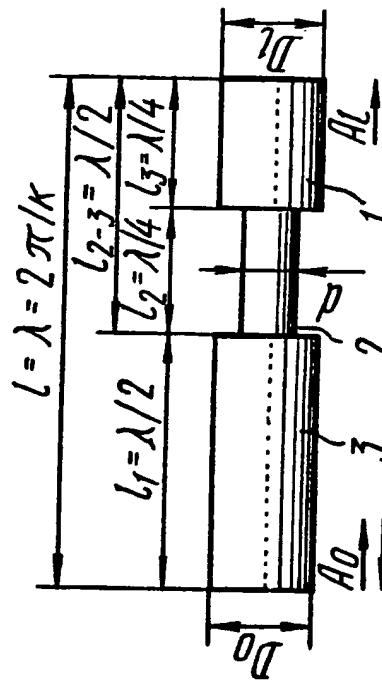


FIG. 2

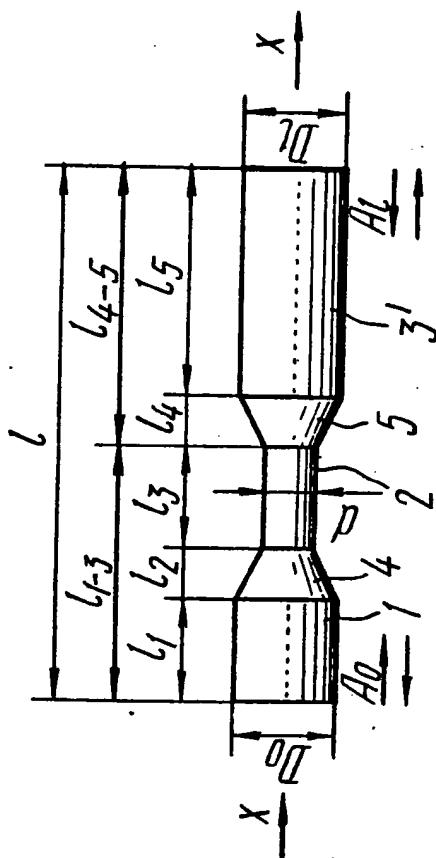


FIG. 3

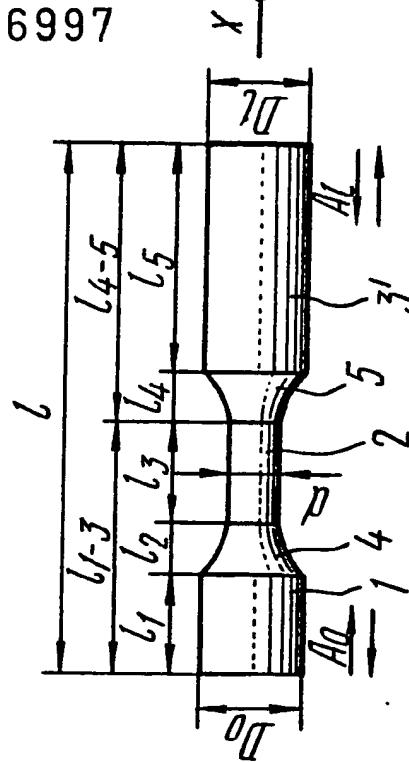


FIG. 4

Nummer:  
 Int. Cl. 2:  
 Anmeldetag:  
 Offenlegungstag:  
 26 06 997  
 B 08 B 3/02  
 20. Februar 1976  
 25. August 1977

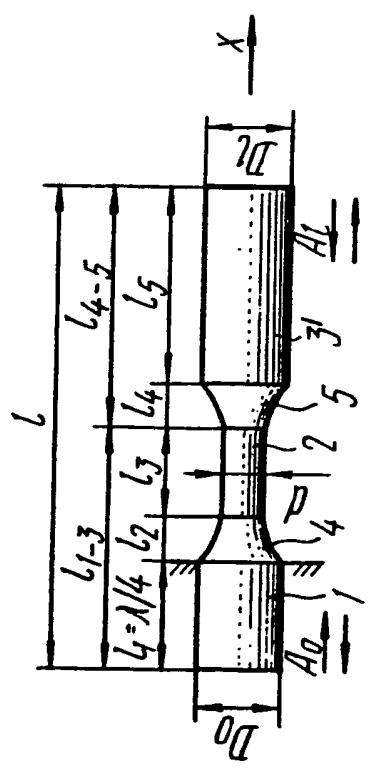


FIG. 5

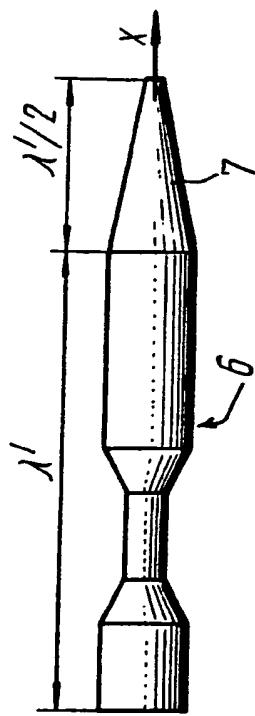


FIG. 6

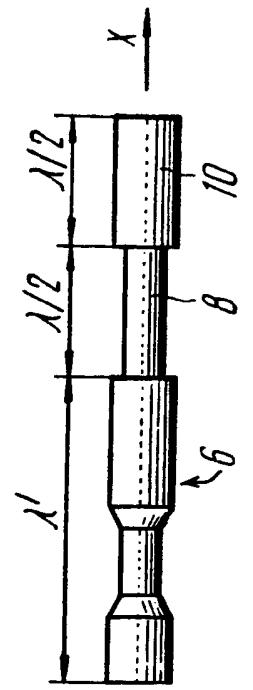


FIG. 8

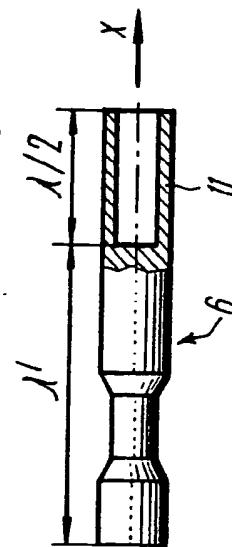


FIG. 9

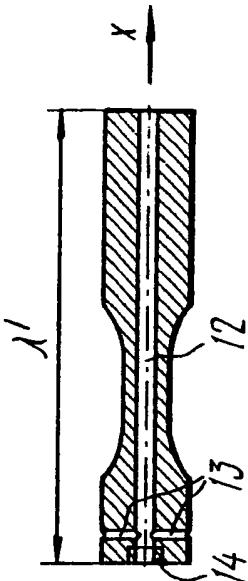


FIG. 10

2606997

34.

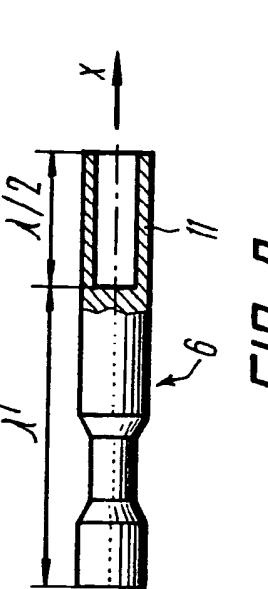
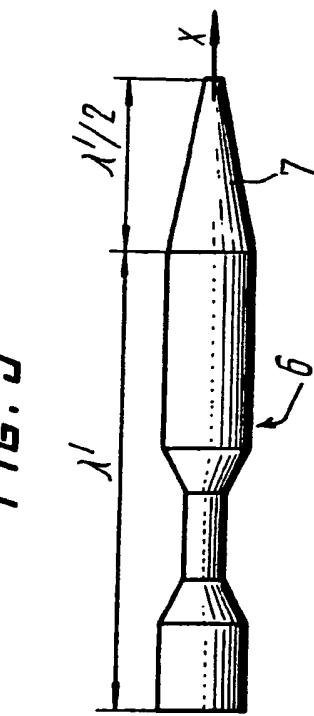


FIG. 7



709834/0176

Patentanwälte  
Dipl.-Ing. D. B. E. T. JEN.  
Dipl.-Ing. K. LAMPERECHT  
Dr.-Ing. R. B. E. T. Z. JR.  
1 Münchener 22, Stellendorfstr. 14

2606997

• 35 •

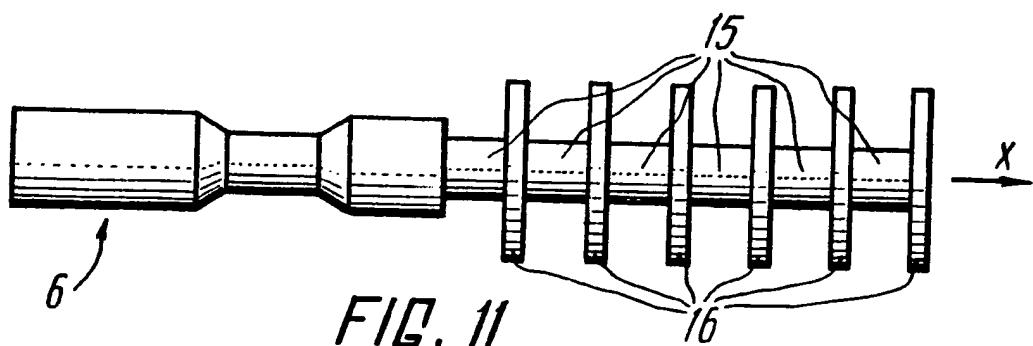


FIG. 11

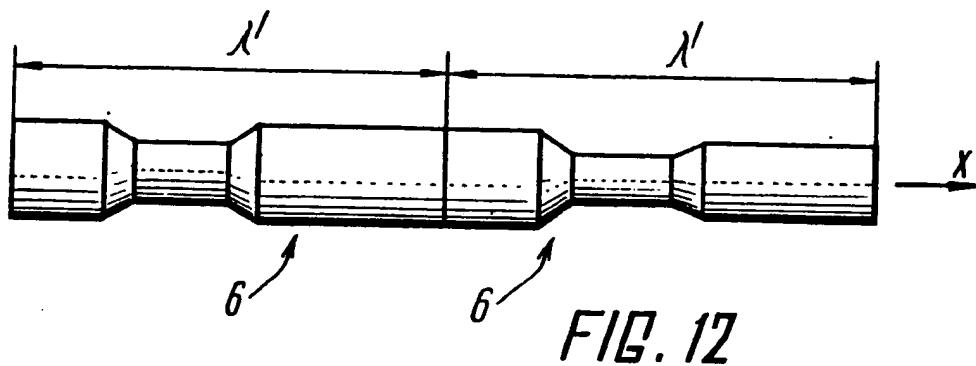


FIG. 12

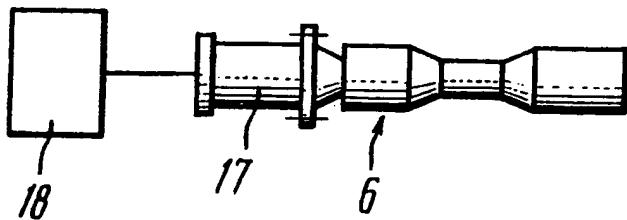


FIG. 13

709834/0176

Patentanwälte  
 Dipl.-Ing. P. BIELETZ sen.  
 Dipl.-Ing. H. BIELETZ JUN.  
 Dr.-Ing. K. W. K. BIELETZ  
 München 29, Stachus

2606997

• 36.

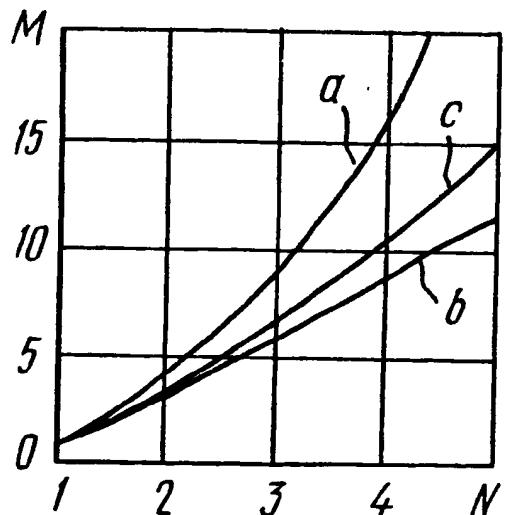


FIG. 14

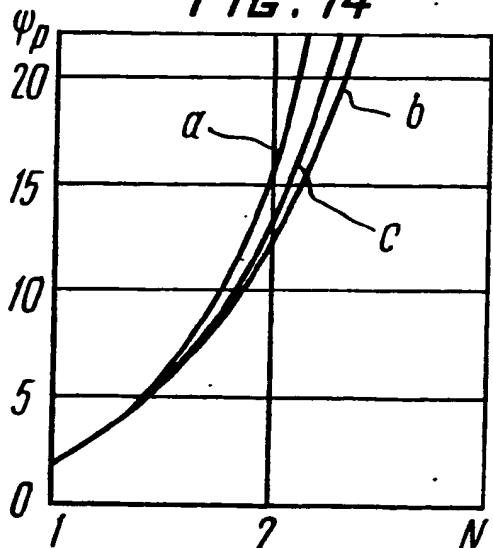


FIG. 15

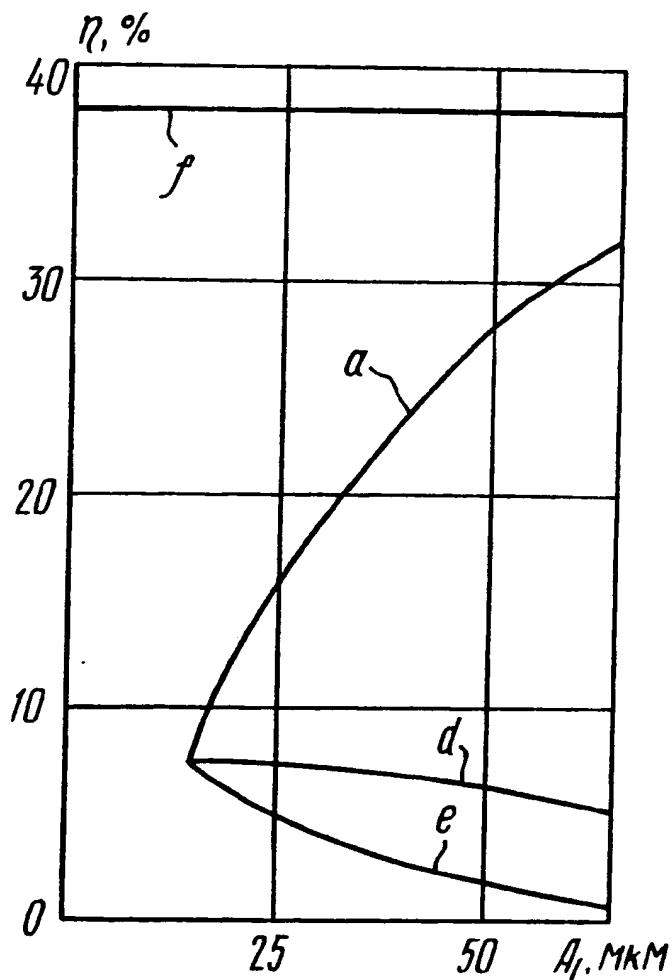


FIG. 16

# RECORDS TRANSFER SHEET

Page 1 of 1

Law Group	A33F8	US10061 / 104-4000	08 January 2007
Report Manager B. M. Thomas	Preparer R. H. Hausman	Telephone Number 18522	Box Number 2 of 10
Facility Services Work Order Number	Security Level (Check One)		Destruction Date Jan 2012
	<input checked="" type="checkbox"/> Internal Use - Air Products <input checked="" type="checkbox"/> Confidential <input type="checkbox"/> Confidential - Limited Access <input type="checkbox"/> Confidential - Restricted		If special destruction requirements are necessary, contact the Records Center Box Number.
			For Records Center Use Box Shelf Location

Description	Atty	File #	# of Files (1 unless specified)
<b>CORPORATE - GENERAL CORRESPONDENCE - 2003</b>	DLG	<b>028-842-L</b>	<b>3</b>
<b>CORPORATE - AGENDAS - 2003</b>	DLG	<b>028-842-L-A</b>	<b>2</b>
<b>CORPORATE - MAILINGS / INFORMATION - 2003</b>	DLG	<b>028-842-L-B</b>	<b>1</b>
<b>CORPORATE - 2003 ANNUAL REPORT - PREPARATION &amp; GENERAL CORRESPONDENCE</b>	DLG	<b>028-844-L</b>	<b>1</b>



# RECORDS TRANSFER SHEET

Page 1 of 1

Law Group	A33F8	US10061 / 104-4000	08 January 2007
Report Manager <b>B. M. Thomas</b>	Preparer <b>R. H. Hausman</b>	Telephone Number <b>18522</b>	Box Number <b>2 of 10</b>
Facility Services Word Order Number	Security Level (Check One)		Destruction Date Jan 2012
	<input checked="" type="checkbox"/> Internal Use - Air Products <input checked="" type="checkbox"/> Confidential <input type="checkbox"/> Confidential - Limited Access <input type="checkbox"/> Confidential - Restricted		If special destruction requirements are necessary, contact the Records Center Box Number
			For Records Center Use
			Box Shelf Location

Description	Atty	File #	# of Files (1 unless specified)
<b>CORPORATE - GENERAL CORRESPONDENCE - 2003</b>	<b>DLG</b>	<b>028-842-L</b>	<b>3</b>
<b>CORPORATE - AGENDAS - 2003</b>	<b>DLG</b>	<b>028-842-L-A</b>	<b>2</b>
<b>CORPORATE - MAILINGS / INFORMATION - 2003</b>	<b>DLG</b>	<b>028-842-L-B</b>	<b>1</b>
<b>CORPORATE - 2003 ANNUAL REPORT - PREPARATION &amp; GENERAL CORRESPONDENCE</b>	<b>DLG</b>	<b>028-844-L</b>	<b>1</b>

THIS PAGE BLANK (USPTO)